

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET

BIOLOŠKI ODSJEK

KONVENCIONALNI I BILJNI PROČISTAČI OTPADNIH VODA: PREDNOSTI I NEDOSTACI

CONVENTIONAL AND NON-CONVENTIONAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS:
ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

SEMINARSKI RAD

Petra Parać

Preddiplomski studij biologije

(Undergraduate Study of Biology)

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Maria Špoljar

Zagreb, 2015.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	2
2. Konvencionalni pročištači.....	4
2.1. Princip rada.....	4
2.2. Prednosti konvencionalnih pročištača otpadnih voda.....	7
2.3. Nedostaci konvencionalnih pročištača otpadnih voda.....	8
3. Biljni pročištači.....	9
3.1. Princip rada.....	10
3.2. Prednosti nekonvencionalnih uređaja.....	13
3.3. Nedostaci nekonvencionalnih uređaja.....	14
4. Literatura.....	16
5. Sažetak.....	18
6. Summary.....	19

1. UVOD

Ubrzanim razvojem gradova, industrije (posebno u 19. i 20. st.), te sve većom potrebom za korištenje i samom upotrebom resursa, dolazi do povećanja zagađenja i negativnog utjecaja na okoliš. Jedan od posljedica je onečišćenje i zagađenje vode. Onečišćenje voda je promjena kakvoće voda koja nastaje unošenjem, ispuštanjem ili odlaganjem u vode hranjivih i drugih tvari; utjecajem energije ili drugih uzročnika; u količini kojom se mijenjaju korisna svojstva voda, pogoršava stanje vodenih ekosustava i ograničuje namjenska uporaba voda (Narodne novine, 107/95). Mnoga naselja i industrijski pogoni nemaju odgovarajući način pročišćenja otpadnih vode te se one nepročišćene ispuštaju u okoliš što dovodi do zagađenja i mnogih negativnih utjecaja. Posljedice takvih postupaka su vidljive u ekološkom i gospodarskom utjecaju na područje, zdravstvenim problemima ljudi, utjecaju na turizam i dr. (Špoljar i sur., 2011; 2013). Iako se potiče redukcija korištenja izvora onečišćenja, pročišćavanje otpadnih voda kemijskim, biološkim i fizikalnim procesima i dalje ostaje izrazito bitno u smanjenju potencijalnog utjecaja ispuštenih otpadnih voda te u nastajanju korisnih produkata, poput ponovno iskoristive vode, nutrijenata i biokrutina (Henze i sur., 2008).

Otpadne vode se mogu podijeliti u nekoliko kategorija ovisno o mjestu nastanka, odnosno načinu nastanka. Posljedica je razlika u količini i vrsti tvari koje se u njima mogu naći. U otpadne vode se ubrajaju kućanske, industrijske, poljoprivredne i oborinske otpadne vode.

- Kućanske ili komunalne otpadne vode obuhvaćaju sve otpadne vode nastale u kućanskim objektima, hotelima, trgovačkim centrima, mjestima uslužnih djelatnosti te drugim mjestima gdje ljudi privremeno ili dugotrajno borave. One se sastoje od ljudskih ekskremenata poput fekalija i urina, vode korištene za njihovo ispuštanje, te otpadnih voda dobivenih kupanjem, pranjem, pripremanjem hrane i čišćenjem (Mara, 2004).
- Industrijske otpadne vode obuhvaćaju otpadne vode nastale tijekom proizvodnje i u procesu rada različitih industrijskih postrojenja. Ovisno o tipu postrojenja, mogu sadržavati tvari koje su jako štetne i opasne za okoliš (npr. nuklearne elektrane), koje priroda ne može samostalno razgraditi i/ili tvari koje na određeni negativni način

utječu na kanalizacijske sustave i uređaje za pročišćavanje. Voda se u radu postrojenja može koristiti jednokratno, dok se kod nekih pogona reciklira i ponovno koristi.

- Poljoprivredne otpadne vode su otpadne vode nastale ispiranjem s poljoprivrednih zemljišta, i sadrže otopljene nitrare, sulfare, pesticide, gnojiva i druge tvari koje se koriste u poljoprivredi te nestručnim kanaliziranjem otpadnih voda s farmi (www.unizd.hr).
- Oborinske otpadne vode su onečišćene vode nastale prolaskom oborina kroz atmosferu i njihovim doticajem s površinom pri čemu dolazi do otapanja prisutnih tvari. Većina oborina otapa u atmosferi one elemente koje su na tom području i ispušteni, dok neke donosi vjetar te tako nastaju primjerice crvene kiše. Kao posljedica sve većeg zagađenja atmosfere i zagađenih površina preko kojih voda teče, oborinske otpadne vode postaju sve veći uzrok onečišćenja prirodnih voda.

Konstituenti prisutni u otpadnim vodama su: mikroorganizmi (patogene bakterije, virusi), biorazgradivi organski materijal, drugi organski materijali (detergenti, pesticidi, masti, ulja, boje), nutrijenti (dušik, fosfor i amonijak), metali (živa, olovo, bakar itd.), druge anorganske tvari (kiseline), tvari koje utječu na temperaturu, neugodan miris i okus te radioaktivne tvari (Henze i sur., 2008). Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u otpadnim vodama dane su u zakonskim regulativama država i mjesta gdje se one obrađuju i ispuštaju. Zbog velikog broja konstituenata, najčešće se koristi nekoliko parametara za karakterizaciju otpadnih voda te određivanja stupnja pročišćenja, a to su: BPK (biološka potrošnja kisika), KPK (kemijska potrošnja kisika), količina suspendirani tvari, dušika, fosfora, metala i patogena (Šperac i sur., 2013).

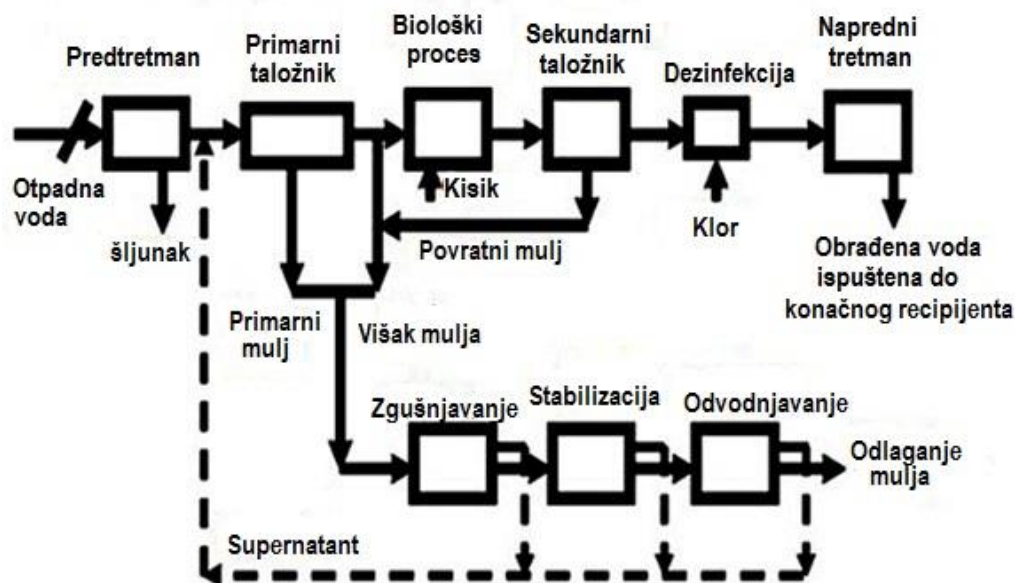
Glavna svrha pročišćavanja voda je uklanjanje onečišćivača koji mogu naštetiti okolišu (Grady i sur., 2011). Postupci pročišćenja se mogu podijeliti na konvencionalne metode pročišćenja i nekonvencionalne metode pročišćenja otpadnih voda – biljni uređaji. Svrha ovog seminara je upoznavanje i komparacija prednosti i nedostataka korištenja bioloških konvencionalnih i nekonvencionalnih metoda pročišćavanja otpadnih voda.

2. KONVENCIONALNI PROČISTAČI OTPADNIH VODA

Procesi u obradi otpadnih voda mogu biti podijeljeni prema metodama rada na fizikalne, kemijske i biološke (Grady i sur., 2011). Kemijski procesi se odnose na obrađivanje otpadnih voda različitim kemijskim spojevima. Neki od procesa su: koagulacija, zgrušavanje, kloriranje, ozonizacija, ionska izmjena, kemijsko obaranje, nitrifikacija – denitrifikacija i dr. (Tedeschi, 1997). Biološki procesi temelje se na primjeni mikroorganizama u aerobnim (miješanjem, ubizgavanjem zraka) i anaerobnim uvjetima. Mikroorganizmi koriste organska tvari u otpadnim vodama za svoj rast i razvoj čime povećavaju biomasu, stvaraju plinove i nerazgradive ostatke te povećavaju količinu mulja. Aktivni mulj sastoji se od bakterija, protozoa i metazoa (Grady i sur., 2011). Ovaj proces temelji se na mehanizmu razgradnje koji se odvija u prirodi, ali u kontroliranim uvjetima i u smanjenom vremenskom intervalu (Sperling i Chernicharo, 2005). Filamentozne bakterije služe u stvaranju flokula, koje je jedno od glavnih obilježja aktivnog mulja. Značajne su: *Nostocoida limcola*, *Microthrix parvicella*, *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix spp.*, Tip 021N, Tip 1851 i dr. (Henze i sur., 2008). Protozoa (npr. bičaći, trepetljikaši) i metazoa (npr. Nematoda, Gastrotrichia, Rotifera) pomažu u poboljšanju kvalitete efluenta kao predatori nad bakterijama i suspendiranim česticama te reguliraju biomasu bakterija (Mara i Horan, 2003).

2.1. Princip rada

Procesi u obradi onečišćenih voda grupirani su u nekoliko stupnjeva pročišćenja kako bi pružili različite razine obrade, a to su: preliminarni, primarni, napredni primarni, sekundarni i napredni (ili tercijski) (Slika 1, Tablica 1).



Slika 1. Primjer konvencionalnog pročistača (preuzeto iz:
<http://massflowsystemsindia.com/wwft.htm>)

Tablica 1. Stupnjevi pročišćenja konvencionalnih uređaja (Prilagođeno prema
Tchobanoglous i sur., 2003)

Stupnjevi pročišćenja	Opis
Preliminarni	Uklanjanje krupnih materijala, šljunka, masti, ulja, drugih plivajućih tvari i sličnih nečistoća
Primarni	Uklanjanje suspendiranih krutina i organskih tvari fizikalnim procesima
Napredni primarni	Dodatno uklanjanje suspendiranih krutina i organskih tvari, najčešće kemijskim procesima
Sekundarni	Uklanjanje biorazgradivih organskih tvari i suspendiranih tvari. Konvencionalni sekundarni tretmani obuhvaćaju i dezinfekciju
Sekundarni s uklanjanjem nutrijenata	Uklanjanje biorazgradivih organskih tvari, suspendiranih tvari i nutrijenata (dušika i fosfora)
Tercijarni	Uklanjanje preostalih suspendiranih tvari te dezinfekcija

Preliminarno (prethodno) pročišćavanje služi za uklanjanje grubih krutina i plutajućih tvari iz otpadnih voda mehaničkim procesom kako bi se uklonila onečišćenja koje mogu negativno utjecati na rad ili oštetiti dijelove uređaja te spriječilo daljnje začepljenje. U tu svrhu najčešće se koriste grube i fine rešetke. Otvori na rešetkama određuju koje otpadne tvari se uklanjaju, a koje prolaze s otpadnom vodom na sljedeći proces. Za uklanjanje sitnijih čestica, poput pijeska i šljunka, koristi se pjeskolov u kojima se odvija proces sedimentacije. Suspendirane čestice masti, ulja, nafte i druge tvari manje gustoće od vode uklanjaju se najčešće u flotatorima. U njima dolazi do ispuštanja mjehurića zraka s dna spremnika što uzrokuje njihovo prijanjanje uz čestice, skupljanje na površini te jednostavnije uklanjanje dijelom uređaja koji klizi po površini. Nakon prethodnog pročišćavanja, većinu suspendiranih čestica u otpadnoj vodi čine organske čestice (Sperling i Chernicharo, 2005).

Primarni tretman (1. stupanj) sastoji se od primarnog taložnika u kojem se odvija proces sedimentacije. U naprednom primarnom tretmanu dodaju se koagulanti, najčešće aluminijev sulfat i željezni (III) klorid. Oni destabiliziraju čestice u vodi koje se zatim skupljaju i udružuju u veće pahulje (flokule) te se talože (Tilley i sur., 2014). Mulj koji nastaje u oba tretmana naziva se primarni mulj, otklanja se iz uređaja i odvodi na obradu.

Sekundarni tretman (2. stupanj) temelji se na biološkim procesima za uklanjanje biorazgradivih organskih tvari. Najzastupljeniji proces koji se koristi za obradu je proces s aktivnim muljem. Uz njega koriste se još lagune, prokapnice ili biološki filteri i rotirajući biološki diskovi (Spellman i Drinan, 2003). Uređaj s aktivnim muljem se sastoji od dva elementa: aeracijskog bazena i taložnika. U aeracijskom bazenu kontinuirano se miješa otpadna voda s određenim volumenom i koncentracijom mulja. U taložniku dolazi do sedimentacije aktivnog mulja (sekundarni mulj) te se dio reciklira natrag u aeracijski spremnik kako bi se maksimalno iskoristila njihova sposobnost razgradnje (Strategija za zaštitu, 2015). Ostatak mulja se odvodi na obradu. Prokapnice ili biološki filtri djeluju kao reaktori s učvršćenim biofilmom. Sastoji se od spremnika ispunjenim odgovarajućim medijem koji služi za filtriranje, a na kojem se nalazi biofilm s mikroorganizmima zaslužnim za aerobnu razgradnju organskih tvari. Otpadna voda se rotirajućim prskalicama jednoliko raspršuje po biofilmu i supstratu te se, pročišćena, skuplja na dnu i odvodi na sljedeći tretman (<http://www.sswm.info>). Dobiveni mulj se uklanja iz spremnika i odvodi na obradu. Rotirajući biološki diskovi rade na sličnom principu kao i prokapnice. Rotirajući diskovi, pričvršćeni na horizontalnu osovinu, sadrže biofilm mikroorganizama te su manjim dijelom uronjeni u bazen s otpadnom vodom. Okretanjem diskova omogućava se periodični kontakt

mikroorganizama s kisikom. Obradena voda odvodi se, dok se mulj skuplja i posebno obrađuje (Spellman i Drinan, 2003). Mulj dobiveni iz sekundarnih tretmana prolazi, zajedno s primarnim muljem (primarni tretman), kroz nekoliko procesa, od kojih su neizostavni zgušnjavanje, stabilizacija i dehidracija. Obrada mulja ovisi o vrsti otpadnih voda, krajnjem odlagalištu ili potencijalnom daljnjem korištenju (kao kompost) (Tilley i sur., 2014). Pročišćena voda dobivena iz ranije navedenih procesa se zatim ispušta u konačne prijemnike (recipijente), a to su najčešće rijeke.

Tercijarni tretman je neophodan kada se trebaju zadovoljiti posebni kriteriji za pročišćene otpadne vode (Mara i Horan, 2003). Kombinacijom fizikalnih (primjerice filtracija), bioloških (uklanjanje nutrijenata) i kemijskih (redukcija, oksidacija, dezinfekcija) procesa mogu se zadovoljiti različite vrijednosti određene zakonskim regulativama za ispuštene vode. Najčešće se koristi za uklanjanje zaostalih tvari iz sekundarnog tretmana, nutrijenata (dušika i fosfora) te nekih toksičnih tvari. Završna faza tercijarnog tretmana je dezinfekcija od patogenih organizama, koja se odvija klorizacijom, UV zračenjem ili ozonacijom (Tilley i sur., 2014). Tako dodatno pročišćene vode zatim se ispuštaju u rijeke, jezera ili ponovno upotrebljavaju.

2.2. Prednosti konvencionalnih pročistača otpadnih voda

- Manja je potreba za prostorom u odnosu na biljne uređaje, dok je sposobnost adaptiranja procesa na različite kategorije otpadnih voda veća, kako bi se maksimalno iskoristile mogućnosti pročišćavanja (Strategija za zaštitu, 2015).
- Zbog napredne tehnologije, veliki dio procesa može biti automatiziran te je smanjena potreba za ljudskim radom.
- Velika neovisnost o vanjskim vremenskim uvjetima (Strategija za zaštitu, 2015).
- Sekundarni tretman ima visoku kvalitetu uklanjanja suspendiranih tvari i redukcije BPK₅ (Biološke Potrošnje Kisika), te ovisno o procesu, nitrifikacije, denitrifikacije i uklanjanja drugih nutrijenata. Proces s aktivnim muljem je najprimijenjeniji i najviše istražen u odnosu na druge procese. Mala je mogućnost pojave neugodnih mirisa (Tilley i sur., 2014; Strategija za zaštitu, 2015).

- Imaju mogućnost prilagođavanja na promjene količine ulaznih otpadnih voda te se mogu modificirati za dobivanje različitih vrsta efluenta, ovisno o njihovoj daljnjoj primjeni (Tilley i sur., 2014).
- Prokapnice i rotirajući biološki diskovi konceptualno su lakši od procesa s bazenima aktivnog mulja. Rotirajući biološki diskovi imaju veliku aktivnu površinu, stvaraju manje mulja i, u usporedbi s drugim procesima, za istu brzinu razgradnje koriste manje energije (Strategija za zaštitu, 2015).
- Ovisno o onečišćivačima u otpadnim vodama i zakonskim standardima, mulj koji se dobije iz primarnih i sekundarnih tretmana može se iskoristiti kao gnojivo u poljoprivredi te smanjiti uporabu umjetnih gnojiva, ubrzati pošumljavanje i smanjiti eroziju (Tilley i sur., 2014).

2.3. Nedostaci konvencionalnih pročistača otpadnih voda

- Velika količina energije troši se pri radu cijelog sustava. Pola potreba na uređaju za električnom energijom odlazi na proces aeracije (Tchobanoglous i sur., 2003). U slučaju nestanka električne energije i/ili mehaničkih popravaka, potrebno je neko vrijeme održavati mikrobni sustav, a istovremeno se otpadna voda ispušta u okoliš (Strategija za zaštitu, 2015).
- Dizajniranje te velika zastupljenost tehnologije i električnih strojeva uzrok su visokih financijskih ulaganja za izgradnju pogona, a za njihovo održavanje i upravljanje potrebno je stručno osoblje (Tilley i sur., 2014).
- Bitno je redovito testiranje ulaznih i izlaznih voda kako bi se uređaji mogli modificirati u slučaju ikakvih promjena. Često se zbog novih kemikalija iz industrijskih otpadnih voda i upotrebe opasnih kemijskih tvari neke promjene u vodama ipak ne mogu tretirati te se one ispuštaju u okoliš i zagađuju ga.
- Svi uređaji se moraju redovno čistiti da ne dođe do pojave neugodnih mirisa i oštećenja jednog ili više dijelova što može uzrokovati prekid rada.
- Sekundarni tretmani mogu imati probleme vezane uz prevelik rast biomase mikroorganizama koji se koriste u procesu, a također su relativno osjetljivi na toksične tvari u vodi koje se nisu uklonile u prethodnim tretmanima (Henze i sur., 2008).
- U procesu s aktivnim muljem, iako je kontrola filamentoznih bakterija pomoću selektorskih sustava bila uspješna, još se javljaju redoviti problemi zbog nekih

organizama, primjerice *Microthrix parvicella*. Stvaraju se rahle flokule, voda je zamućena, a taloženje mulja je sporo što uzrokuje probleme i neefikasnost u procesu obrade otpadnih voda (Henze i sur., 2008).

- Prokapnice i rotirajući biološki diskovi skloni su stvaranju neugodnih mirisa i razvoju kukaca, posebice muha iz skupine *Psychoda* (Strategija za zaštitu, 2015).
- Uređaji sekundarnih tretmana ovise o temperaturi zraka – niže temperature utječu na usporavanje bioloških procesa te se moraju adekvatno izolirati ili se dodatna energija mora koristiti za grijanje.
- Mulj nastao iz primarnog i sekundarnog tretmana zahtjeva obradu i zbrinjavanje što predstavlja dodatni financijski trošak. Neke vrste mulja se zbog prisutnosti teških metala i drugih opasnih tvari odnose na posebne deponije ili se u nekih općinama spaljuju. Sve je teže pronaći zemljišta koja zadovoljavaju zakonske uvjete za odlaganje, a spaljivanje dovodi do oslobađanja tvari opasnih za zdravlje i okoliš te su regulirana drugim zakonskim restrikcijama (Tchobanoglous i sur., 2003).
- Filteri korišteni u procesu dezinfekcije moraju biti redovno mijenjani. Upotreba klora i ozona u dezinfekciji mogu stvoriti toksične nusprodukte. Alternativni način poput UV zračenja su djelotvorniji u dezinfekciji, ali su i skuplji (Hoffman i sur., 2011).

3. BILJNI PROČISTAČI OTPADNIH VODA

Biljni uređaji koriste se u procesu pročišćavanja različitih vrsta otpadnih voda te imaju važnu ulogu u mnogim ekološkim sanitacijskim nacrtima (Hoffman i sur., 2011). Sustav biljnih uređaja nastoji kombinacijom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa poput taloženja, filtracije, degradacije, adsorpcije te uz pomoć biljaka i mikroorganizama što vjernije replicirati procese iz prirode (Tedeschi, 1997). Oni se najčešće koriste za pročišćenje kućanskih otpadnih voda hotela, turističkih objekata, manjih naselja ili objekata udaljenih od kanalizacijske mreže, industrijskih otpadnih voda (npr. manje tvornice), oborinskih otpadnih voda (npr. oborinske vode s autocesta) i poljoprivrednih otpadnih voda. Uređaji se također mogu koristiti i u konvencionalnom sustavu kao tercijarni tretman za usavršavanje nakon procesa s aktivnim muljem ili prokapnika (Hoffmann i sur., 2011). Pročišćena voda se može vratiti u okoliš ili se iskoristiti u poljoprivredne svrhe primjerice za natapanje površina.

3.1. Princip rada

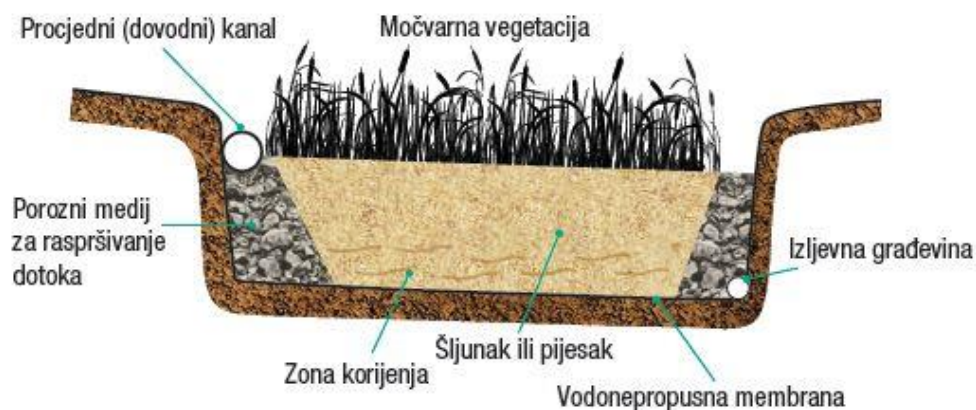
Biljni uređaji sastoje se od jednog ili više bazena u kojima se odvija obrada i pročišćenje ulaznih voda. Bazeni se grade na području blagog nagiba (optimalno 0,5 – 1,0%) te njihovo dno mora biti vodonepropusno (Malus i Vouk, 2012; Šperac i sur., 2013). Materijal kojim se prekriva dno mora imati odgovarajuće karakteristike (debljina i sastav otporni na otpadne tvari iz otpadnih voda) kako bi se spriječilo procjeđivanje nepročišćene vode u tlo i miješanje s podzemnim vodama (Malus i Vouk, 2012). Najčešće se koriste PVC postava, glina ili beton (Hoffman i sur., 2011.). Postoji nekoliko faza, odnosno tretmana u postupku pročišćenja koji ovise o vrsti onečišćenja.

Predtretman ili primarni tretman služi za odvajanje krutog materijala te masti i ulja iz ulaznih otpadnih voda kako bi se spriječilo začepljavanje u idućim fazama i omogućio jednoliki tok vode. Najčešće u tu svrhu služe septičke jame ili (Imhofovi) taložnici. Oni se sastoje od više komora u kojima dolazi do mehaničkog i biološkog procesa te koje su, kao i sam spremnik, izgrađane vodonepropusno. Prilikom zadržavanja sirove otpadne vode, suspendirane čestice i drugi materijali će se zbog utjecaja gravitacije istaložiti na dnu komora, dok će se masti, ulja te druge čestice lakše od vode skupiti na površini. Zbog nedostatka kisika dolazi do anaerobne razgradnje organskih tvari pod utjecajem mikroorganizama. Razgradnjom mulja, koji se istaložio na dnu, smanjuje se njegova količina i do četiri puta što omogućuje veću produktivnost i dulje razdoblje između čišćenja spremnika (Malus i Vouk, 2012). Voda pročišćena u predtretmanu odlazi posebnom cijevi do biljnih uređaja u idućoj fazi ili se kao takva u nekim slučajevima ispušta u okoliš.

Sekundarni tretman obuhvaća sve vrste biljnih uređaja. Ovisno o tipu toka otpadnih voda, dijele se na biljne uređaje s površinskim tokom (eng. *free surface constructed wetlands*), biljne uređaje s podpovršinskim tokom (eng. *subsurface constructed wetlands*) i hibridne biljne uređaje. Kod uređaja s površinskim tokom voda teče prema izljevu po površini i izložena je atmosferi. Uređaj se sastoji od plitkog bazena sa supstratom u kojem su na određenim dijelovima ukorijenjene biljke. Doticaj otpadne vode sa zrakom uzrokuje aerobnu razgradnju organskih tvari na površini dok ispod površine dolazi do anaerobne razgradnje (Tedeschi, 1997).

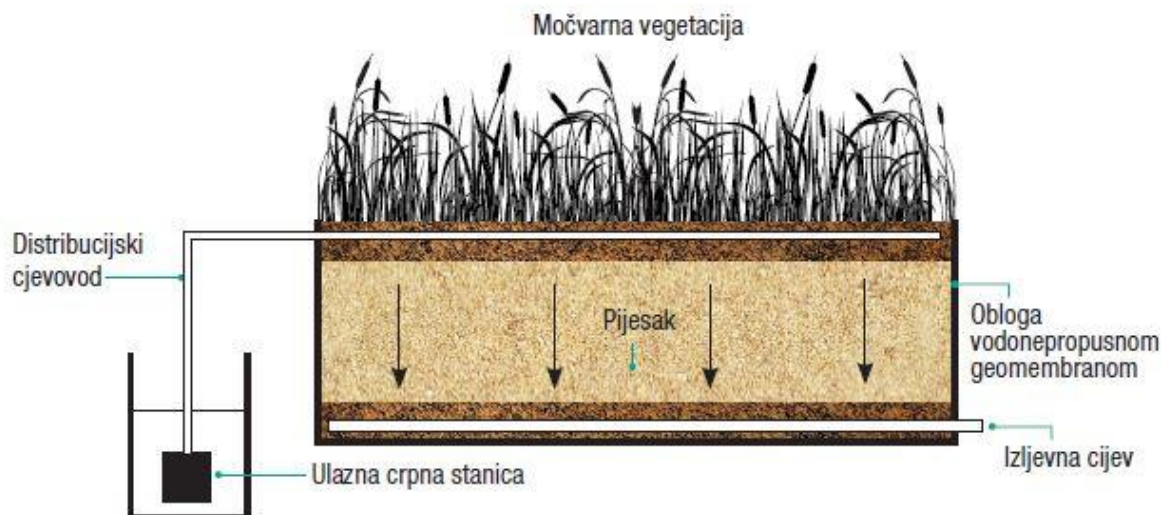
Kod uređaja s podpovršinskim tokom otpadna voda teče blizu površine uređaja. Ona prolazi kroz supstrat i ukorijenjene biljke te nije izložena atmosferi. S obzirom na način protoka vode kroz sustav, uređaj se može podijeliti na uređaje s horizontalnim protokom i uređaje s

vertikalnim protokom (Malus i Vouk, 2012). Kod horizontalnog protoka otpadna voda ulazi u bazen blizu površine i teče više-manje longitudinalno prema kraju bazena gdje se izljeva u drenažni cjevovod na dnu. (Slika 2.)



Slika 2. Biljni uređaj s horizontalnim tokom (Malus i Vouk 2012)

Kod vertikalnog protoka otpadna voda ulazi u uređaj u površinskom sloju te zbog gravitacije prolazi kroz supstrat i skuplja se u cijevi na dnu bazena u drenažni cjevovod. (Slika 3.) U oba slučaja, kako bi se osigurao optimalan rad uređaja, otpadna voda koja se ulijeva treba biti ravnomjerno raspodjeljena po čitavoj površini (za uređaje s vertikalnim tokom) i po čitavoj širini (za uređaje s horizontalnim tokom). U tu se svrhu ponekad koriste posebne crpke (Malus i Vouk, 2012). Hibridni biljni uređaji obuhvaćaju kombinacije prije navedenih tipova biljnih uređaja. Bazeni s različitim protokom se serijski povezuju kako bi se iskoristile prednosti svakog od iskorištenog biljnog uređaja te poboljšalo uklanjanje otpadnih tvari. Najčešće se kao prvi uređaj stavljaju bazeni s vertikalnim tokom, zatim bazeni s horizontalnim tokom. Mogu se kombinirati i s biljnim uređajem s površinskim tokom koji se onda stavljaju na kraj kao završna faza (Malus i Vouk, 2012).



Slika 3. Biljni uređaj s vertikalnim tokom (Malus i Vouk, 2012)

U biljnim uređajima, kao i kod prirodnih močvara, područja najveće aktivnosti razgradnje su supstrati i područja oko biljaka. Za poboljšanje obrade otpadnih voda specifičnih za određeno područje, pri izradi uređaja se koriste različiti supstrati i vegetacija. Supstrati mogu biti zemlja, pijesak ili bilo kakav drugi materijal koji je porozan i omogućuje prolazak vode istodobno djelujući kao filter, područje rasta mikroorganizama i mjesto ukorijenjivanja biljaka. Za optimalno funkcioniranje biljnih uređaja koriste se supstrati s različitim granulacijama postavljenim u slojevima različite debljine (vidljivo na Slika 2. i 3.). Veličina čestica supstrata bi trebala biti dovoljno velika da omogući kontinuirani prolazak otpadnih voda, ali ne prevelika da umani djelotvornost pročišćenja (Hoffman i sur., 2011.).

Makrofiti koji se najčešće koriste u uređajima su oni tipični za područje u kojem je izgrađen biljni uređaj, posebice u tropima i subtropima, te oni koji su najoptimalniji za rad s obzirom na tip toka tog uređaja (Vymazal, 2011). Oni uklanjaju onečišćivače tako da ih direktno asimiliraju u svoje tkivo te osiguravaju čvrstoću tla i površinu i prikladan okoliš za razvoj mikroorganizama, koji transformiraju onečišćivače i smanjuju njihovu koncentraciju (Moshiri, 1993). Velika je raznolikost biljnih vrsta koji se koriste, a one moraju biti sposobne tolerirati više koncentracije organskih i hranjivih elemenata, imati obilne podzemne organe poput rizoma i korijena te imati veliku nadzemnu biomasu za izolaciju tijekom zime u hladnijim područjima te za uklanjanje nutrijenata. Biljna vrsta koja se najviše upotrebljava u Europi i hladnijim regijama je *Phragmites australis* (trska). Također se koriste *Typha latifolia* (rogoz), *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea*, *Scirpus sp.* te *Iris pseudacorus*. U toplijim klimama koriste se vrste *Cyperus papyrus*, *C. albobstriatus*, *C. alternifolius*, *Typha latifolia*,

bambus, vrste roda *Heliconia*, *Cana* i *Zantedeschia*, *Pennisetum purpureum* i dr. (Hoffman i sur., 2011). Svojim korijenom i rizomima makrofiti su pričvršćeni za tlo čije su pukotine ispunjene vodom. Difuzija kisika u vodi je 10^4 – 10^6 puta sporija nego u zraku, što uzrokuje stvaranje anaerobnog i anoksičnog područja uz korijenje koji pogoduju denitrifikaciji i drugim anaerobnim razgradnjama pomoću mikroorganizama. Nedostatak kisika korijen nadoknadi transportom iz aeralnih organa biljke preko aerenhimskog tkiva. Difuzijom kroz stanice korijena stvaraju se područja koja sadrže kisik te koja služe za aerobne razgradnje, nitrifikacije, oksidaciju i detoksifikaciju opasnih tvari u rizosferi (Vymazal, 2011). Područja s kisikom su posebno bitna za biljne uređaje s podpovršinskim tokom gdje otpadna voda nije u doticaju sa zrakom.

3.2. Prednosti nekonvencionalnih uređaja

- Biljni uređaji predstavljaju ekonomičnije i jednostavnije načine obrade otpadnih voda u odnosu na konvencionalne. Izgradnja ne zahtjeva posebne materijale, velike radove niti stručno osposobljeno osoblje (Malus i Vouk, 2012).
- Uređaji koriste jednostavnu i izdržljivu tehnologiju koja nema (ili ima vrlo malu) potrebu za električnom energijom te je održavanje jednostavno i jeftino (Strategija za zaštitu, 2015).
- Velika je učinkovitost čišćenja: 70 – 90% redukcije BPK₅ (Strategija za zaštitu, 2015).
- Zbog svoje jednostavnosti koriste se najčešće za pročišćenje otpadnih voda manjih objekata ili zajednica.
- Objekti za predtretman se nalaze na površini, a mogu biti i ispod površine zemlje te tako ne zauzimaju prostor, a zbog biološke razgradnje čestica, koja se odvija u njima, mogu se koristiti dulje vrijeme bez pražnjenja (Tilley i sur., 2014)
- Vegetacija ima veliku učinkovitost pročišćavanja i uspješnog uklanjanja nutrijenata i organskih materijala (Vymazal, 2011).
- Dio hranjivih tvari, pesticida, teških metala i drugih tvari se uspješno ugrađuje u biomasu biljaka. One se mogu ponovno upotrijebiti u poljoprivredne svrhe kao kompost ili krmivo, ako zadovoljavaju zakonske norme (Strategija za zaštitu, 2015). Ovisno o tipu otpadnih voda koje se tretiraju, na području bazena se ponekad mogu uzgajati ekonomski upotrebljive biljke.

- Kod uređaja s podpovršinskim tokom nema neugodnih mirisa niti razvoja beskralješnjaka, prvenstveno kukaca (Strategija za zaštitu, 2015).
- Biljke koje se koriste su najčešće autohtone te služe za održavanje i povećanje biološke raznolikosti područja. Svojim izgledom i oblikom biljni uređaji utječu na estetiku krajolika, zamjenjuju ekosustave životinjskim vrstama te služe kao lokalne „zelene površine“ (Hoffman i sur., 2011).

3.3. Nedostaci nekonvencionalnih uređaja

- Veličina potrebnog područja ovisi o tipu biljnog uređaja koji se koristi i obično je dosta velika. Za uređaje s horizontalnim tokom potrebno je 8 m² po osobi, dok su za uređaje s vertikalnim tokom potrebna 4 m² po osobi u područjima s godišnjom prosječnom temperaturom manjom od 10°C,. U toplijim klimatskim područjima, s godišnjom prosječnom temperaturom većom od 20°C, za uređaje s horizontalnim tokom potrebna su 3 m² po osobi, a za uređaje s vertikalnim tokom 1,2 m² po osobi (Hoffman i sur., 2011).
- Uređaji trebaju biti smješteni na području s malim nagibom pri čemu gravitacija uzrokuje protok vode (Hoffmann i sur., 2011). Izgradnja uređaja na ravnom terenu uvjetuje ugradnju crpki za pumpanje vode koje troše energiju dok pad terena veći od 5,0% može uzrokovati nefunkcionalnost sustava i dodatni trošak izgradnje (Malus i Vouk, 2012).
- Za izgradnju se ne preporučuju poplavna područja jer će negativno utjecati na funkcioniranje uređaja te će se nepročišćena voda ispustiti u okoliš.
- Ovisno o tipu otpadnih voda, mora se dizajnirati odgovarajući sustav predtretmana za uklanjanje krutina jer one mogu uzrokovati prestanak funkcije pročistača. Objekti za predtretman moraju imati konstantan pritok kako ne bi došlo do stagnacije i kako bi se voda mogla samostalno i konstantno odvoditi do biljnih uređaja.
- Potreban je kontinuirani dotok vode (<http://ohioline.osu.edu>). Velike promjene u količini (suše, poplave, mjenjanje izvora otpadnih voda) negativno utječu na vegetaciju i rad uređaja.
- Mulj koji u objektima nastaje sedimentacijom i biološkom razgradnjom potrebno je redovito čistiti, kako ne bi došlo do začepljenja, neugodnih mirisa i razvoja različitih uzročnika bolesti. Moguće je ručno čišćenje, ali ono je opasno i ponekad nepraktično

te se zato prakticira mehaničko čišćenje koje zahtjeva posebne uređaje. Dobiveni mulj se u određenim slučajevima mora još pročistiti za što su potrebna adekvatna postrojenja.

- Neispravno projektirani uređaji, od strane ljudi koji nisu stručno osposobljeni, mogu uzrokovati začepjenja, poplave i pojavu neugodnih mirisa.
- Iako biljke i mikroorganizmi uspješno uklanjaju otpadne tvari iz voda, još nije postignuto visoko kvalitetno uklanjanje patogena, u odnosu na konvencionalne pročistače te drugih opasnih tvari.
- Nemogućost redovitog rezanja te uklanjanja biljne biomase s preuzetim nutrijentima uzrokuje vraćanje istih nutrijenata u vodu tijekom procesa razgradnje (Vymazal, 2011).
- Velika količina toksičnih tvari ili amonijaka u otpadnim vodama može dovesti do ugibanja biljaka te se zato uređaji rjeđe koriste za visoko onečišćene otpadne vode (Hoffman i sur., 2011).
- Kao i prirodne močvare, biljni uređaji ovisni su o klimatskim uvjetima. Visoke temperature dovode do jake evaporacije vode, isušivanja, prevelikog razmnožavanja bakterija i algi i dr., dok jako niske temperature usporavaju prirodne procese te mogu biti uzrok slabijeg rada.

4. LITERATURA

Grady, C. P. L. Jr, Daigger, G. T., Love, N. G., Filipe, C. D. M., 2011. Biological Wastewater Treatment, Third Edition, CRC Press, pp.1-40.

Henze, M., Loosdrecht, M. C. M. Van, Ekama, G. A., Brdjanović, D., 2008. Biological Wastewater Treatment, Principles, Modelling, and Design, IWA Publishing, London.

Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M., Muench, E. von, 2011. Technology Review of Constructed Wetlands. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Greywater and Domestic Wastewater Treatment. Eschborn: Deutsche Gesellschaft fuer Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Malus, D., Vouk, D., 2012. Priručnik za učinkovitu primjenu biljnih uređaja za pročišćavanje sanitarnih otpadnih voda, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet.

Mara, D., 2004. Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries, Earthscan Publications, London, pp.1-20.

Mara, D., Horan, N. J., 2003. Handbook of Water and Wastewater Microbiology, Academic Press, pp.240-287.

Moshiri, G. A., 1993. Constructed wetlands for water quality improvement, CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, pp.1-70.

Spellman, F. R., Drinan, J., 2003. Wastewater Treatment Plant Operations Made Easy: A Practical Guide for Licensure, DEStech Publications, pp.124-139.

Sperling, M. von, Lemos Chernicharo, C. A. de, 2005. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, IWA Publishing, London, pp.165-278.

Strategija za zaštitu vodnih resursa s konceptom održivog razvoja prekograničnog projektnog područja, Celje, Republika Slovenija, ožujak 2015.

Šperac, M., Kaluder, J., Šreng, Ž., 2013. Biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, e-gfos 7:76-86

Špoljar, M., Dražina, T., Habdija I., Meseljević M., Grčić, Z., 2011. Contrasting zooplankton assemblages in two oxbow lakes with low transparencies and narrow emergant

macrophyte belts (Krapina River, Croatia), International Review of Hydrobiology 96:175-190.

Špoljar M., 2013. Microaquatic communities as indicator of environmental changes in lake ecosystems, Journal of Engineering Research 1:29-42.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D.; Metcalf & Eddy Inc. (Editor), 2003. Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, fourth Edition, New York, McGraw-Hill Companies, Inc.

Tedeschi, S., 1997. Zaštita voda, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Sveučilišna tiskara, Zagreb, pp.113-234.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Zurbrügg, C., 2014. Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 2nd revised edition, Duebendorf, Switzerland, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), pp.98-164.

Vymazal, J., 2011. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review, Hydrobiologia 674:133-156.

<http://massflowsystemsindia.com/wwft.htm>

http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/1999_01_8_98.html

<http://ohioline.osu.edu/a-fact/0005.html>

<http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/semi-centralised-wastewater-treatments/t>

http://www.unizd.hr/portals/4/nastavni_mat/2_godina/zastita_ok/predavanje_9.pdf

5. SAŽETAK

Razvoj djelotvornih načina pročišćavanja otpadnih voda je od velike važnosti u zaštiti okoliša. Postoje različite metode obrade otpadnih voda koje se temelje na određenim kriterijima. Konvencionalni način obrade se sastoji od preliminarog, primarnog, sekundarnog i tercijarnog tretmana koji se temelje na biološkim, fizikalnim i kemijskim procesima. Najčešći biološki proces pročišćavanja otpadnih voda je tretman s aktivnim muljem. Bakterije, protozoa i mikroskopski sitni metazoa koriste organske tvari iz otpadnih voda za hranu i povećanje biomase. Biološki proces ima visoku efikasnost uklanjanja suspendiranih čestica, BPK₅ i nutrijenata, a dobiveni mulj se može koristiti kao kompost. Konvencionalni biološki pročišćivači su jako efikasni, koriste manji prostor u odnosu na biljne pročišćivače i njihov rad neovisan je o vremenskim uvjetima. Neki od njihovih nedostataka su konstantna i velika potreba za električnom energijom, stručno osoblje za gradnju i održavanje, visoke cijene izgradnje i održavanja te ekološko zbrinjavanje aktivnog mulja. Od nekonvencionalnih, biljnih pročišćivača poznati su oni s površinskim i podpovršinskim (vertikalni i horizontalni) tokom. Prednosti nekonvencionalnih pročišćivača su jednostavnost upotrebe, manja kompleksnost rada, niži troškovi uspostave i održavanja te u odnosu na konvencionalne pročišćivače. Biljke koje se koriste u ovim pročišćivačima imaju veliku stopu uklanjanja nutrijenata i teških metala, povećavaju biološku raznolikost područja, ne narušavaju estetsku vrijednost krajolika i mogu se koristiti kao kompost. Nedostaci su veličina potrebnog područja, osjetljivost na povećane razine nutrijenata, teških metala i toksičnih elemenata te potreba za konstantnim dotokom vode. S obzirom na sve veću svijest o potrošnji energetske resursa, pretpostavlja se da će primjena biljnih pročišćivača biti sve zastupljenija u pročišćavanju otpadnih voda.

Ključne riječi: fizičke i kemijske metode, aktivni mulj, makrofiti, nutrijenti

6. SUMMARY

Development of effective wastewater treatment has always been highly important in environmental protection. There are various ways of wastewater treating which are based on different criteria. Conventional wastewater treatment consists of preliminary, primary, secondary and tertiary treatments that are based on biological, physical and chemical processes. The most common biological process of wastewater treatment is a treatment with activated sludge. Bacteria, protozoa and microscopic metazoa use organic matter from wastewater as food and enhancement of biomass. Biological treatment offers high quality removal of suspended solids, BOD₅ and nutrients and waste sludge can be used in composting. Conventional biological treatment is highly efficient, uses less space compared to non-conventional treatments and their functioning is not dependent on outdoor conditions. Some of the disadvantages of these treatments are the constant high electrical energy requirements and the design, supervision, maintenance, and the general cost of construction that would require highly skilled workers. There is also the issue of ecological disposal of the sludge waste. Prominent non-conventional wastewater treatments are ones with free surface and subsurface (horizontal and vertical) flow. Non-conventional treatments, compared to conventional treatments, are easier to use, cost less and are less complex in operation and design. Plants used in these treatments have higher efficiency of nutrient and heavy metal removal, raise biological diversity, don't distort the aesthetics of the landscape and can be used for composting. The disadvantage of that treatment is huge occupied area, sensitivity to nutrients increase, toxic and heavy metal levels and the requirements for constant water supply. Considering an increase of awareness in the use of energy resources, it is assumed that non-conventional wastewater treatment will be more applied in the future.

Keywords: physical, chemical and biological methods, activated sludge, macrophyte, nutrients